

# 조합된 나선근으로 횡보강된 콘크리트의 횡보강효과 An experimental Study on the Confinement Effect of Concrete specimens confined by Interlocking Spirals

김진근\*, 박찬규\*\*  
Kim, Jin-Keun, Park, Chan-Kyu

## ABSTRACT

Experimental research was carried out to investigate the confinement effect of concrete specimens confined by interlocking spirals subjected to the concentric axial compressive load. Main variables are the compressive strength of concrete with 2 levels(normal and high strength), the spacing of the spiral reinforcement, the yield strength of the spiral reinforcement with 2 levels and 4 different interlocking lengths.

For the same volumetric ratio, the use of interlocking spirals is not as effective as the single spirals, provided that the spirals have the same diameter.

### 1. 서론

기존의 횡보강된 콘크리트의 일축압축시험은 대부분 단나선근이나 겹친 사각형 띠철근으로 제한되었다. 이러한 기존의 실험결과에서 콘크리트의 횡보강 효과는 횡보강근의 상세, 콘크리트의 강도수준, 골재의 종류 등에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다. 기둥에서 조합된 나선근은 CALTRANS<sup>1)</sup>의 개정된 고속도로교 표준 시방서에 규정되어 있다. 기둥에서 조합된 나선근을 사용하면 두가지 잇점이 있는데, 첫째, 겹쳐진 사각형 띠철근보다 횡보강 효과가 뛰어나기 때문에 횡보강근량을 줄일 수 있다. 둘째, 겹쳐진 사각형 띠철근보다 철근의 조립이 용이하다.

CALTRANS 시방서에는 지진지역의 다리에는 조합된 나선근을 가지는 기둥을 설계할

수 있도록 되어 있다. 그런데 이러한 시방서 내용은 단나선근(single spiral)을 사용한 기둥의 실험적 이론적 연구에 기초하고 있다. 그 결과, CALTRANS 시방서는 조합된 나선근의 사용에 관한 충분한 정보를 제공해주지 못하고 있어서<sup>2)</sup>, 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구의 목적은 조합된 나선근으로 횡보강된 콘크리트 시험체의 거동에 대한 실험적인 데이터를 제시하며, 그 효과를 연구하는데 있다. 이를 위하여, 콘크리트의 강도는 2개의 수준이 채택되었으며, 각각 25, 78MPa이다. 또한 나선근의 겹침길이는 4가지 종류가 사용되었는데, 각각 0, 25, 50 및 75mm이다. 겹침길이의 정의는 그림 1에 나타난 바와 같다.

### 2. 실험

콘크리트 제조를 위하여 제1종 시멘트를 사용하였다. 잔골재는 강모래를 사용하였으

\* 한국과학기술원 토목공학과 교수

\*\* 한국과학기술원 토목공학과 박사과정

표 1 콘크리트의 배합비

mix no.	cement (kg/m <sup>3</sup> )	water (kg/m <sup>3</sup> )	sand (kg/m <sup>3</sup> )	coarse aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	silica fume (kg/m <sup>3</sup> )	superplasticizer (%)
NSC	320	230.4	752	919.3	-	-
HSC	495	165	613.3	1044.3	55	2

며, 굵은골재는 최대골재크기 10mm의 화강암 쇄석을 사용하였다. 고강도 콘크리트 배합(HSC)에서는 고성능 감수제와 실리카흙을 사용하였다. 콘크리트의 배합비는 표 1에 나타낸 바와 같다.

본 연구에서 모든 시험체의 높이는 400mm이며, 그림 1에 나타낸 바와 같은 단면 형상으로 제작되었다. 콘크리트의 강도는 보통강도(25MPa)와 고강도(78MPa)를 선택하였으며, 나선근의 종류는 2가지 형태를 사용하였는데 각각의 항복강도는 432, 1030MPa이다. 나선근의 항복강도는 영구연실율 0.2%에서 측정하였다. 철근의 항복강도가 432MPa인 나선근을 사용한 시험체의 경우, 보통강도 콘크리트 시험체에 있어서 나선근의 간격은 120, 60, 40, 30 및 20mm, 고강도 콘크리트 시험체에서는 60, 40, 20mm에 대해서 실험을 수행하였다. 철근의 항복강도가 1030MPa인 나선근을 사용한 경우에는 보통강도 시험체에서는 나선근 간격을 40mm, 고강도 콘크리트 시험체에는 50, 40 및 25mm에 대하여 실험을 수행하였다. 나선근은 바깥 지름이 100mm, 주어진 간격을 가지도록 제작하였으며, 콘크리트 타설직전 몰드안에 배치를 하였다. 모든 시험체에 대하여 진동기를 사용하여 다짐을 하였으며, 24시간만에 탈형하여 시험시까지 수중양생을 실시하였다. 시험에 사용된 기기는 250ton 용량의 INSTRON사의 Closed-loop Servo-hydraulic Dynamic Materials Testing System이다. 시험직전 시험체 윗면은 유향으로 캡핑하였다. 시험체에 콤프레소 메타를 부착한 다음, 양면에 L. V. D. T.를

설치하여 축방향 변위를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험결과

실험결과가 표 2에 나타나 있다. 각각의 시험체 응력-변형도 곡선에서 최대응력과 그점에서의 변형도가 표 2에 제시되어 있다. 표 2에서 NC와 HC는 각각 보통강도 콘크리트와 고강도 콘크리트, 120, 60, 40 등은 각각 나선근의 간격을 나타낸다. 그리고 1, 2, 3 및 4는 각각 나선근의 겹침길이가 0, 25, 50 및 75mm임을 의미한다. L과 H는 각각 항복강도가 432MPa, 1030MPa 인 나선근을 나타낸다.

#### 3.2 나선근의 양이 강도와 최대응력에서의 축방향 변형도에 미치는 영향

나선근으로 확보강된 기둥의 설계에서 ACI Building Code<sup>3)</sup>에서는 다음과 같은 최소 나선근량을 배근하도록 규정하고 있다.

$$\rho_s \geq 0.45 \left( \frac{A_c}{A_g} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \quad (1)$$

여기서,  $A_g$ 는 기둥의 총단면적,  $A_c$ 는 나선근으로 확보강된 단면적,  $f'_c$ 는 콘크리트의 압축강도,  $f_y$ 는 나선근의 항복강도이다.

CALTRANS Code에서는식(1)을 단나선근과 조합된 나선근 모두 사용할 수 있도록 되어 있으며, 조합된 나선근의 경우에 나선근량은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\rho_s = \frac{2 \pi d_c A_{sp}}{A_c S_{sp}} \quad (2)$$

표 2 실험결과

specimen	$\rho_s$	$f_{oc}$ (MPa)	$\epsilon_{oc}$	specimen	$\rho_s$	$f_{oc}$ (MPa)	$\epsilon_{oc}$
NC-Plain	0	25.02	0.001965	HC-Plain	0	77.99	0.002588
NC120-1L	0.0060	25.02	0.002081	HC60-1L	0.0121	78.56	0.002878
NC120-2L	0.0065	25.21	0.002071	HC60-2L	0.0130	80.53	0.002905
NC120-3L	0.0075	25.40	0.002233	HC60-3L	0.0150	81.07	0.003010
NC120-4L	0.0092	25.74	0.002297	HC60-4L	0.0183	84.37	0.003183
NC60-1L	0.0121	26.49	0.003136	HC40-1L	0.0181	83.40	0.003151
NC60-2L	0.0130	27.14	0.003474	HC40-2L	0.0195	84.42	0.003263
NC60-3L	0.0150	27.65	0.003911	HC40-3L	0.0225	88.04	0.003671
NC60-4L	0.0183	30.78	0.005671	HC40-4L	0.0275	90.70	0.004030
NC40-1L	0.0181	32.58	0.01015	HC20-1L	0.0362	103.40	0.005000
NC40-2L	0.0195	33.07	0.01131	HC20-2L	0.0390	107.77	0.005787
NC40-3L	0.0225	36.27	0.01488	HC20-3L	0.0450	114.71	0.007425
NC40-4L	0.0275	40.58	0.01988	HC20-4L	0.0550	124.20	0.008617
NC30-1L	0.0241	42.28	0.01534	HC50-1H	0.0157	82.85	0.003091
NC30-2L	0.0260	43.38	0.01735	HC50-2H	0.0169	83.88	0.003409
NC30-3L	0.0300	46.45	0.02088	HC50-3H	0.0195	87.33	0.003345
NC30-4L	0.0367	52.40	0.02440	HC50-4H	0.0239	87.87	0.003741
NC20-1L	0.0362	54.04	0.02455	HC40-1H	0.0196	88.70	0.003469
NC20-2L	0.0390	58.23	0.03096	HC40-2H	0.0212	90.14	0.004081
NC20-3L	0.0450	63.56	0.04020	HC40-3H	0.0244	93.62	0.004262
NC20-4L	0.0550	78.26	0.04754	HC40-4H	0.0299	96.12	0.004652
NC40-1H	0.0196	37.19	0.01901	HC25-1H	0.0314	103.28	0.006676
NC40-2H	0.0212	39.20	0.02154	HC25-2H	0.0338	113.34	0.009827
NC40-3H	0.0244	40.59	0.02257	HC25-3H	0.0390	116.87	0.01597
NC40-4H	0.0299	44.79	0.02571	HC25-4H	0.0478	131.36	0.01997

표 3 조합된 나선근과 단나선근과의 횡보강 효과의 차이

single spiral ( $\rho_s$ )	$f_{oc}$	$\epsilon_{oc}$	interlocking spiral ( $\rho_s$ )
NC40-1L(0.0181)	>	>	NC60-4L(0.0183)
NC30-1L(0.0241)	>	<	NC40-4L(0.0275)
NC20-1L(0.0362)	>	>	NC30-4L(0.0367)
HC40-1H(0.0196)	>	>	HC50-3H(0.0195)

여기서,  $A_{sp}$ 는 나선근의 단면적,  $S_{sp}$ 는 나선근의 간격,  $d_c$ 는 나선근 바깥쪽 지름이다.

표 3에서 알 수 있듯이 비슷한 나선근량에서 단나선근의 횡보강 효과는 조합된 나선근의 횡보강 효과보다 우수한 것으로 나타났다.

표 2에서 같은 나선근 간격하에서 겹침길이가 증가(나선근량의 증가)함에 따라 재료상수( $f_{oc}$ ,  $\epsilon_{oc}$ )가 증가함을 알 수 있다. 그리고 표 3에서 단나선근의 시험체는 비교된 조합된 나선근 시험체보다 나선근의 간격이 작다. 그러므로 조합된 나선근 시험체의 횡보강 효과는 나선근량 뿐 아니라 간격에도 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

예를 들면, NC40-L시리즈에서 겹침길이가 100mm가 되면 나선근량은 NC20-1L 시험체와 동일하게 되지만, 재료상수는 NC20-1L 시험체보다 작을 것으로 예측된다.

### 3.3 축방향 응력-변형도 곡선

그림 2, 그림 3 및 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 동일한 나선근 간격하에서 겹침길이가 증가할수록 최대응력과 최대응력에서의 변형도가 증가함을 알 수 있다. 응력-변형도 곡선에서 하강부분의 기울기는 겹침길이가 증가할수록 조금 완만한 곡선을 가지는 것으로 나타났다. 고강도 콘크리트 시험체에서는 응력-변형도 곡선의 상승 부분에서 저강도 시험체보다 기울기가 크고 보다 직선적인 형태를 나타냈다. 또한 고강도 콘크리트 시험체에서는 최대응력 이후 응력-변형도 곡선은 어느 한 응력까지 갑작스런 하강을 나타냈는데, 그 이후 다시 수평방향으로 곡선이 구부러지는 형태를 보이고 있다. 이러한 현상은 겹침길이에 관계없이 항복강도가 432MPa인 나선근을 사용한 경우에 모든 고강도 시험체에서 나타났다. 이유로는 고강도 시험체에서는 나선근량에 관계없이 최대 응력 이후 갑작스런 전단파괴면이 형성되었는데, 이러한 파괴면에서 발생하는 전단력을 나선근이 저항함으로써 하강부분의 곡선이 수평방향으로 구부러지는 형태를 나타내는 것으로 사료된다.

그러나 그림 4에 나타난 바와 같이 항복강도가 1030MPa인 나선근을 사용한 경우에는 이러한 변곡점이 발생하지 않고 지속적인 하강곡선을 나타냈다.

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 고강도 콘크리트 시험체에서 고강도 나선근을 사용한 경우, 나선근량이 적음에도 최대응력에서의 변형도는 증가함을 알 수 있다. HC25-4H 시험체인 경우 최대응력에서의 변형도는

HC20-4L 보다 2배 이상 큰값을 가지는 것으로 나타났다. 이것은 고강도 콘크리트 시험체에서도 고강도 나선근 사용하면서 적절한 나선근량을 배근한다면 큰 연성을 얻을 수 있음을 의미한다.

보통강도 콘크리트 시험체에서 나선근 간격이 넓을수록 전단파괴형태가 많이 나타났으나, 고강도 콘크리트 시험체에서와 같은 급격한 응력의 감소는 나타나지 않았다. 나선근량이 증가할수록 콘크리트의 과도한 횡방향 변형에 의한 나선근의 끊어짐이 많이 나타났는데, 대표적인 예가 NC20-L 시리즈이다.

### 3.4 횡보강 응력의 계산

본 연구에서는 기존에 제안된 횡보강 응력 계산식을 사용하였으며<sup>4)</sup>, 식 (3)과 같다.

$$f_{cl} = \frac{\rho_s f_y}{2} \left( 1 - \frac{S_{sp}}{d_c} \right) \quad (3)$$

조합된 나선근을 사용한 시험체에서의 나선근 간격은 단나선근 시험체의 간격을 사용하였다.

### 3.5 강도의 증가

식 (3)에서 계산한 횡보강 응력에 대한 심부콘크리트의 강도 증가가 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 알 수 있듯이 동일한 항복강도의 나선근을 사용한 경우에 있어서, 같은 횡보강응력하에서의 강도 증가는 콘크리트 강도수준과 겹침길이에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

### 3.6 최대응력에서의 축방향 변형도

식(3)에서 계산한 횡보강 응력에 대한 최대 응력에서의 축방향 변형도가 그림 6에 나타나 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이 최대 응력에서의 변형도는 나선근의 겹침길이에 관계없이 콘크리트의 강도수준에 크게

영향을 받는 것으로 나타났다. 이 값은 횡보강응력이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 증가율은 콘크리트의 강도가 증가할수록 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 고강도 콘크리트 기둥에서의 연성 증가를 저강도 콘크리트 기둥만큼 얻기 위해서는 상당한 양의 횡보강이 추가로 필요함을 의미한다.

#### 4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 동일한 나선근량에 대해서, 조합된 나선근의 사용은 단나선근을 사용한 경우에 해당하는 횡보강 효과가 나타나지 않음을 알 수 있었다.
- 2) 조합된 나선근을 사용한 시험체의 거동은 나선근량과 나선근의 간격에 영향을 받는다.
- 3) 나선근의 겹침길이에 관계없이 동일한 횡보강하에서 심부콘크리트의 강도 증가는 콘크리트의 강도수준에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
- 4) 나선근의 겹침길이에 관계없이 동일한 횡보강하에서 최대응력에서의 축방향 변형도는 콘크리트의 강도 수준에 크게 영향을 받음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단 목적기초 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. CALTRANS Structures Seismic Design References, Bridge Design Specifications, State of California, Department of Transportation, Division of Structures, 1990.

2. Tanaka, H. and park, R., "Seismic Design and Behavior of Reinforced Concrete Columns with interlocking Spirals," ACI Structural Journal, Vol. 90, No. 2, 1993, pp. 192-203.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-89)," American Concrete Institute, Detroit, 1989.
4. Iyengar, K.T. Sundara, Desayi, Parakash and Reddy, K. Nagi, "Stress-Strain Characteristics of Concrete Confined in Steel Binders," Magazine of Concrete Research, Vol. No. 72, 1970. pp. 173-184.

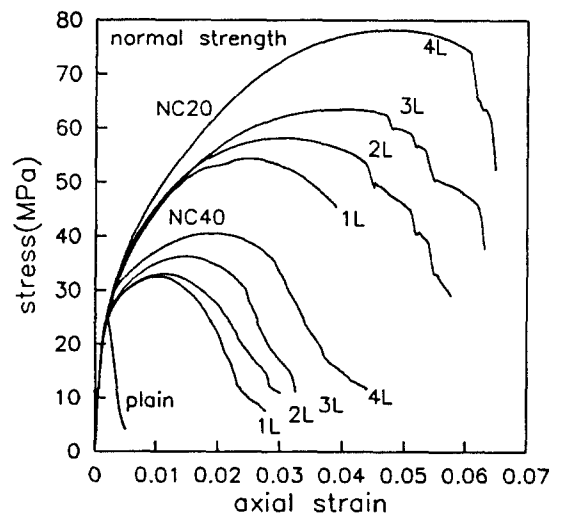
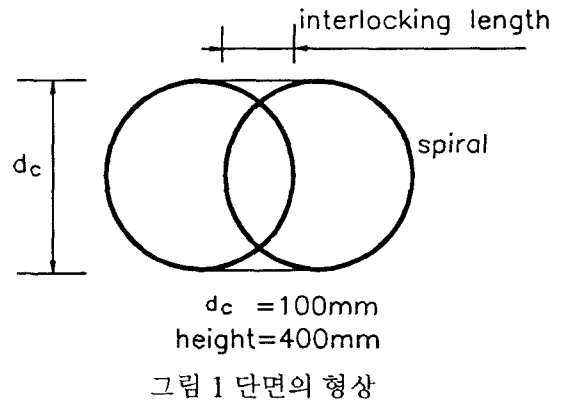


그림 2 축방향 응력-변형도 곡선( $f_0=25\text{MPa}$ )

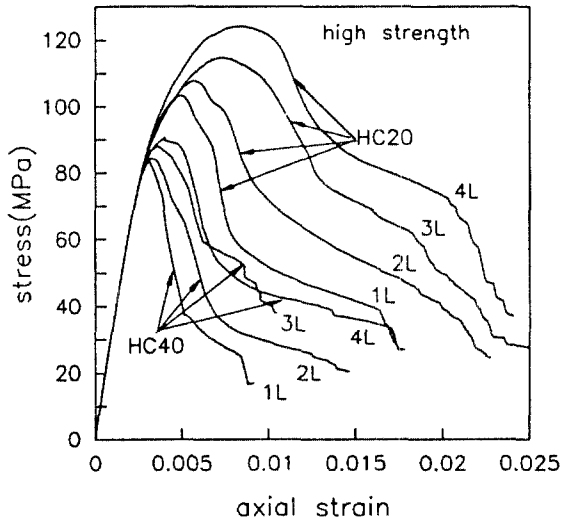


그림 3 축방향 응력-변형도 곡선( $f_0=78\text{MPa}$ )

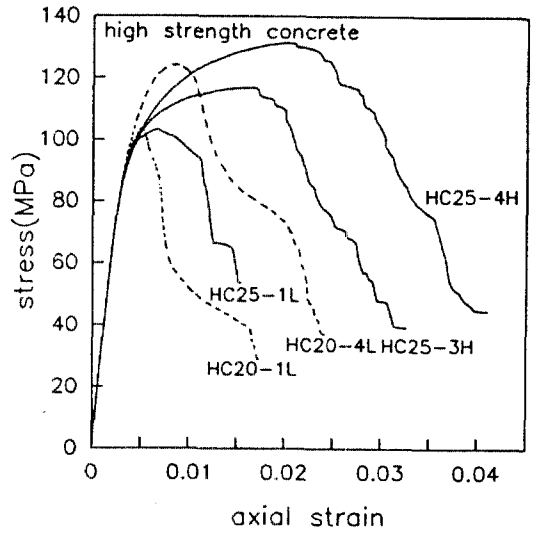


그림 4 나선근 함복강도의 영향( $f_0=78\text{MPa}$ )

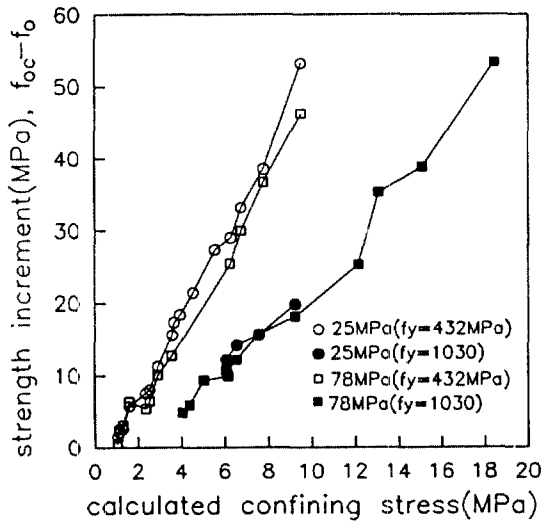


그림 5 강도의 증가

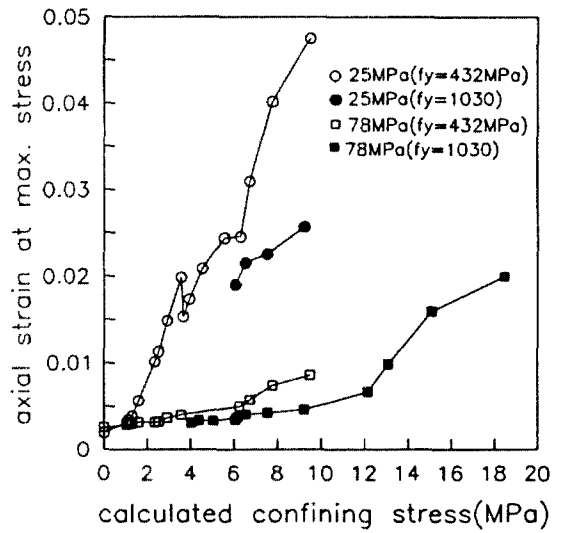


그림 6 최대응력에서의 축방향 변형도